

ZACISKANIE WYROBISK NA DUŻYCH GŁĘBOKOŚCIACH W GÓROTWORZE SOLNYM

Convergence of large depth mining excavations in salt rock formations

Józef BIENIASZ¹, Waldemar WOJNAR¹, Andrzej SADOWSKI²
& Joanna WRZOSEK²

¹*Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „Chemkop”;
ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków; e-mail: wwoj@chemkop.pl*

²*KGHM Polska Miedź S.A., Oddział Zakłady Górnicze „Polkowice-Sieroszowice”;
59-101 Polkowice Kaźmierzów; e-mail: a.sadowski@kgmh.pl*

Treść: Pomiary naturalnego zaciskania wyrobisk solnych na dużej głębokości, przekraczającej 900 m, prowadzone są od 20 lat przez OBR Chemkop w ZG Polkowice-Sieroszowice. Długi okres obserwacji baz w jednym z wyrobisk chodnikowych pozwolił uchwycić charakterystyczne fazy zjawiska konwergencji. Faza szybkiego zaciskania początkowego przechodzi poprzez trwające kilka lat wyhamowywanie ruchu do etapu wieloletniego zaciskania z niemal stałą szybkością, kilkakrotnie mniejszą od początkowej. Instalując nowe bazy pomiarowe, uwzględniono różne wielkości przekrojów poprzecznych wyrobisk: od kilkunastu do 200 m², położonych na głębokościach od 894 m do 952 m i o różnym czasie istnienia od 1 tygodnia do ponad 19 lat. Zanotowano wartości konwergencji fazy początkowej: od ok. –100 mm/rok do ponad –600 mm/rok. Natomiast dla wyrobisk, których wiek wynosi kilkanaście lat, charakterystyczna jest średnia szybkość zaciskania od –30 mm/rok do –100 mm/rok.

Słowa kluczowe: eksploatacja soli, deformacje poeksploatacyjne, konwergencja wyrobisk

Abstract: Measurements of the natural convergence of salt excavation at large depth exceeding 900 meters are conducted for 20 years by OBR Chemkop in Polkowice-Sieroszowice. In 2009 and 2010 the range of measurements increased to a dozen or so new stations. A long term observation of the excavation points revealed characteristic phases of the convergence phenomenon. In the first years of the salt excavations existence, values of linear convergence ranged from –100 mm/year to more than –600 mm/year. However, for excavations older than ten years, average speed of convergence varied from –30 mm/year to –100 mm/year. This is a typical graph of deformation for excavations on great depth in salt deposit.

Key words: salt exploitation, deformation, convergence

WSTĘP

Współczesna eksploatacja złóż soli wiąże się z reguły z sięganiem do głębiej położonych zasobów kopaliny. W przypadku polskich kopalń soli eksploatujących klasycznymi metodami górnictwymi oznacza to obecnie przedział głębokości od 450 m do 750 m w kopalni Kłodawa i nieco ponad 900 m w Zakładzie Górniczym Polkowice-Sieroszowice KGHM. Dla przypomnienia: w starych kopalniach eksploatujących złoża mioceneskie, takich jak Wieliczka i Bochnia, przedział głębokości eksploatacji wynosił od kilkudziesięciu do ok. 470 m. Natomiast przy współczesnej eksploatacji otworowej, związanej często z magazynowaniem paliw, przedział głębokościowy lokalizacji komór wynosi w Polsce od ok. 400 m do niemal 2000 m. Jednak metoda eksploatacji otworowej nie daje możliwości bezpośredniego pomiaru wielkości i tempa zaciskania komór ługowniczych, jako istotnego czynnika decydującego o wykorzystaniu tych pustek poeksploatacyjnych. Tym bardziej cenne są wyniki bezpośrednich pomiarów konwergencji wyrobisk na dużych głębokościach z dwóch wspomnianych kopalń. OBR Chemkop od kilkudziesięciu lat specjalizuje się w tego typu pomiarach.

W Kopalni Soli Kłodawa pomiary konwergencji prowadzone są na rozbudowanej sieci baz pomiarowych rozmieszczonych w poszczególnych polach eksploatacji i obserwowanych systematycznie od ponad 30 lat. Ich wyniki były wielokrotnie publikowane i prezentowane, m.in. na konferencjach PSGS. Z jeszcze głębiej zalegających pokładów wydobywana jest sól w ZG Polkowice-Sieroszowice, a wyniki prowadzonych tam pomiarów konwergencji zaprezentowano poniżej.

Dla poznania zjawiska naturalnego zaciskania wyrobisk solnych niezwykle istotny jest długi czas regularnych obserwacji konwergencyjnych. Procesy deformacyjne w górotworze solnym mają swoją dynamikę w funkcji czasu istnienia wyrobiska. Jak pokazują doświadczenia kłódawskie, bezpośrednio po wybraniu wyrobiska obserwuje się szybkie zaciskanie calizn konturu solnego. Szybkość ta z czasem ulega wyhamowaniu i po dłuższym okresie stabilizuje się na poziomie znacznie niższym od początkowego (Bieniasz *et al.* 2003). W odniesieniu do typowej kłódawskiej komory prostopadłościennej położonej na stosunkowo dużej głębokości 630 m ustalono na podstawie dziesięcioletnich, specjalistycznych pomiarów szybkość zaciskania jej przekroju poprzecznego na ok. 1 promil/rok (Marcola-Sadowska *et al.* 2009). Pomiary te wykonywano pomiędzy 6. a 15. rokiem istnienia komory, czyli uzyskana wartość dotyczy już raczej fazy powolnego, wieloletniego zaciskania, po ustaniu intensywnych deformacji pojawiających się bezpośrednio po wybraniu komory. Charakterystyka zmienności procesu zaciskania wyrobiska solnego w funkcji czasu zależy także od wielu czynników górnictwo-geologicznych i eksploatacyjnych takich, jak: głębokość położenia wyrobiska w złożu, wielkość przekroju poprzecznego, rodzaj skał solnych czy oddziaływanie sąsiedniej eksploatacji itp.

POMIARY KONWERGENCJI WYROBISK W GŁĘBOKIM POKŁADZIE SOLNYM W ZG POLKOWICE-SIEROSZOWICE KGHM

W ZG Polkowice-Sieroszowice pomiary naturalnego zaciskania solnych wyrobisk chodnikowych OBR Chemkop rozpoczął i prowadził w latach 1991–1997 na trzech stanowiskach pomiarowych. Był to początkowy okres rozpoznania złoża solnego robotami górnictwymi.

Przedmiotem pomiaru była konwergencja pionowa i pozioma wyrobisk, a także ruch otaczającego wyrobisko górotworu w strefie kilku metrów od konturu. Początkowo obserwacje wykonywano w interwale kwartalnym, potem około półrocznym z mniejszą regularnością.

Po kilkunastoletniej przerwie powrócono do pomiarów konwergencji w połowie 2009 r., rozszerzając ich zakres do kilkunastu stanowisk w celu dostosowania sieci pomiarowej do obecnego zasięgu przestrzennego wyrobisk solnych oraz przywracając większą regularność obserwacji.

Ze wspomnianych trzech początkowych stanowisk w ZG Polkowice-Sieroszowice udało się w 2009 r. przywrócić do pomiaru konwergencji jedno z nich. Stwierdzono zachowanie w stosunkowo dobrym stanie stacji pomiarowej w przecince 2 na głębokości ok. 904 m, mierzącej pionową i poziomą zbieżność calizn w osiach symetrii przekroju chodnika. Pozostałe dwie stacje zostały zniszczone. Na stanowisku pomiarowym w przecince 2 wykonano po ponad 12 latach przerwy pomiary długości dwóch baz: pionowej i poziomej.

Jednocześnie w 2009 r. zastabilizowano kilkanaście nowych stanowisk pomiarowych w wyrobiskach solnych i kamiennych, a w roku 2010 uzupełniono sieć pomiarową o kilka kolejnych. Starano się uchwycić różnorodność parametrów geologiczno-górnictwowych i eksploatacyjnych wyrobisk, które obecnie obejmują znacznie większą przestrzeń złoża solnego niż 20 lat wcześniej.

W ujęciu statystycznym zmienność tych parametrów w odniesieniu do nowych stanowisk pomiarowych przedstawia się następująco:

- rodzaj skał górotworu: sól, anhydryt, dolomit;
- wielkość przekroju poprzecznego komór i chodników: od 13 m² do 187 m²;
- głębokości wyrobisk: od 894 m p.p.t. do 952 m p.p.t.;
- lokalizacja głębokościowa w pokładzie solnym: od 6% do 74% od spągu pokładu,;
- czas istnienia wyrobisk: od 1 tygodnia do ponad 19 lat (od 0.02 do 19.08 roku).

Zastosowano sprawdzony, podstawowy model konwergencyjnej stacji pomiarowej składającej się z czterech znaków pomiarowych, tworzących dwie bazy, w pionowej i poziomej osi przekroju poprzecznego wyrobiska. Wybrano takie miejsca lokalizacji stanowisk pomiarowych, które umożliwiają realizację założonych celów użytkowych wskazanych przez zlecającą, a przy okazji dostarczają cennych danych poznawczych. Jednocześnie zapewniają wieloletnie wykorzystywanie baz pomiarowych, chroniąc znaki przed zniszczeniem lub uszkodzeniem przez pracujące maszyny lub ludzi.

Pomiary zostały wykonane zestawem pomiarowym wykorzystującym laserowy dalmierz DISTO D5 firmy Leica i specjalny uchwyt do tego dalmierza, łącznie ze znakami do jego mocowania i sygnalizacji celów. Zastosowane urządzenie odczytowe pozwala mierzyć odległości z dokładnością 1 mm (możliwa dokładność odczytu 0.1 mm). To rozwiązanie pomiarowe chronione jest *Opisem ochronnym wzoru użytkowego nr PL 59765 Y1*. Obserwacje wykonywano w cyklu zbliżonym do kwartalnego.

WYNIKI OBSERWACJI ZACISKANIA WYROBISK

Dzięki wspomnianemu wznowieniu pomiarów na stanowisku pomiarowym założonym przed kilkunastu laty otrzymano unikatowy dla tak dużej głębokości eksploatacji wykres zależności konwergencji liniowej od czasu. Uzyskane wyniki, zestawione w formie

wykresu (Fig. 1), są modelowym przykładem zmienności konwergencji liniowej w funkcji czasu istnienia wyrobiska. Niemal dwudziestoletni okres obserwacji baz w przecince 2 pozwolił uchwycić charakterystyczne fazy zjawiska konwergencji. Pierwsze pomiary na tym stanowisku rozpoczęto po niespełna miesiącu od wykonania chodnika o pierwotnej szerokości ok. 5.4 m i wysokości ok. 4.1 m (powierzchnia przekroju poprzecznego ok. 22 m²). Dzięki temu uchwycona została stosunkowo wczesna faza intensywnych deformacji po wykonaniu wyrobiska.

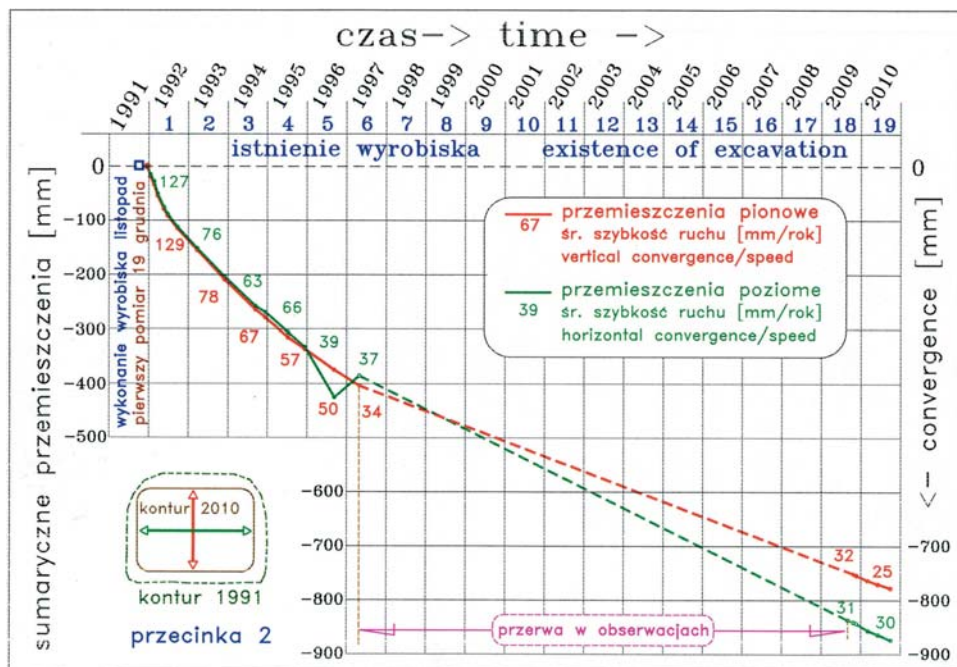


Fig. 1. Zaciskanie pionowe i poziome chodnika na głębokości 900 m w funkcji czasu

Fig. 1. Vertical and horizontal convergence of the salt dog heading on 900 m depth, in the function of time

W pierwszym roku istnienia tego chodnika średnia szybkość pionowego i poziomego zaciskania jego przekroju wynosiła ok. -130 mm/rok, a incydentalnie w poszczególnych interwałach pomiarowych osiągała -245 mm/rok. W kolejnych latach szybkość ta malała stopniowo, aż do wartości poniżej -40 mm/rok rejestrowanej w 6. roku obserwacji, przed ich przerwaniem i wartości rzędu od -25 mm/rok do -30 mm/rok zanotowanej w 2010 r., w 19. roku istnienia wyrobiska. Taki przebieg deformacji jest typowy dla wyrobisk w złożach soli, gdzie po intensywnym narastaniu przemieszczeń w pierwszym okresie istnienia pustki następuje kilkuletni interwał spowalniania zaciskania, przechodzący w długi okres powolnego zaciskania z prawie stałą szybkością. W całym 19-letnim okresie wykonywania pomiarów baza pionowa skróciła się o ok. 780 mm, baza pozioma o ok. 870 mm, a wielkość i zmienność w czasie konwergencji pionowej i poziomej są niemal identyczne.

W celu porównania wyników pomiarów konwergencji w złożu sieroszowickim i kłodawskim wybrano z odpowiednich wykresów (Fig. 1, 2) okres pomiędzy 6. a 15. rokiem obserwacji analogicznych wyrobisk. Szybkość zaciskania typowego chodnika w złożu kłodawskim (na głębokości 630 m) wynosiła 1 promil/rok, a w przypadku sieroszowickiego chodnika (na głębokości nieco ponad 900 m) wartość względnego zaciskania pionowego wynosi ok. 7 promili/rok. Jest to wartość siedmiokrotnie większa, przy wzroście głębokości o niepełne 300 metrów. Może to wskazywać na szybszy, nieliniowy wzrost konwergencji z głębokością w złożach soli, jednak potwierdzenie tej tezy wymaga znacznie bogatszego materiału obserwacyjnego.

Na większości nowych stanowisk pomiarowych czas prowadzenia cyklicznych pomiarów konwergencji wyrobisk wyniósł w końcu 2010 r. kilkanaście miesięcy, co pozwoliło jedynie na wstępną interpretację wyników uzyskanych z kilku serii pomiarowych. Na podstawie opracowanego obliczeniowo i graficznie materiału pomiarowego ewidentnie ujawnia się zależność pomiędzy wielkością (szybkością) zaciskania a czasem istnienia wyrobiska pokazana na figurze 2.

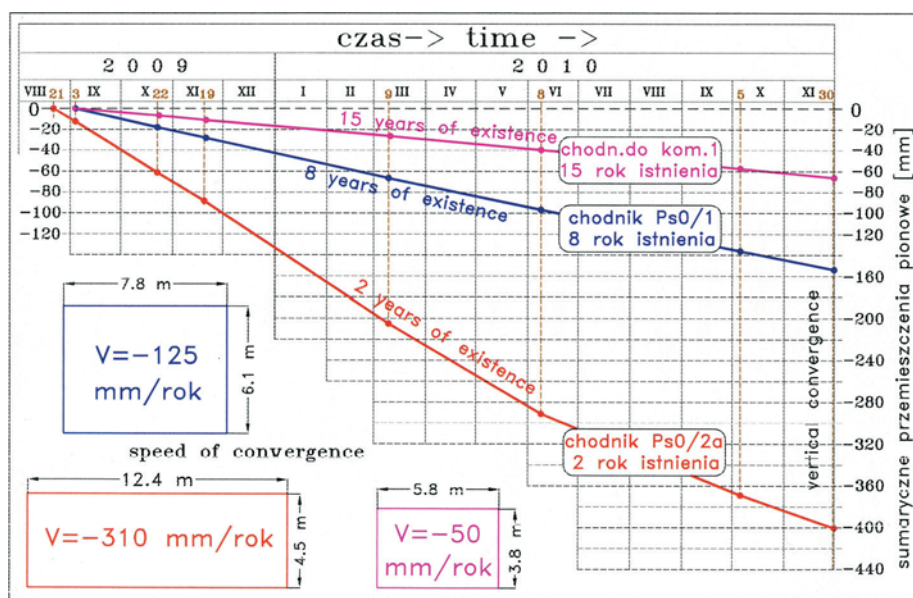


Fig. 2. Konwergencja pionowa chodników o różnym czasie istnienia

Fig. 2. Vertical convergence of excavations on different time of existence

W pierwszym i drugim roku istnienia wyrobiska solnego rejestrowane są szybkości zaciskania w przedziale od ponad -100 mm/rok do niemal -500 mm/rok, a incydentalnie w pierwszym interwale pomiarowym zanotowano szybkość rzędu -650 mm/rok. Tego rodzaju bardzo duże deformacje zarejestrowano na pięciu stanowiskach, na których obserwacje rozpoczęto bezzwłocznie po wykonaniu wyrobiska. Dla części z tych stanowisk daje się zauważyć tendencję do wyhamowywania ruchu i zmniejszania szybkości deformacji po upływie

kilkunastu miesięcy. Przykładem tej fazy zaciskania wyrobisk jest wykres konwergencji pionowej chodnika Ps0/2a (Fig. 2). Wyliczona dla całego okresu obserwacji średnia szybkość zaciskania tego przekopu wynosi ok. -310 mm/rok. Tak duża szybkość konwergencji wyrażona w wartościach względnych oznacza, że w pierwszych miesiącach istnienia wyrobiska na głębokości ponad 900 m jego zaciskanie przebiega w tempie kilku procent na rok.

Dla kolejnej grupy obserwowanych wyrobisk solnych liczących kilka lat istnienia charakterystyczne są szybkości zaciskania w przedziale od -100 mm/rok do -140 mm/rok. Dotyczy to obserwacji na trzech stanowiskach w wyrobiskach liczących 8 i 9 lat. Ilustracją tej fazy zaciskania wyrobisk jest wykres konwergencji pionowej chodnika Ps0/1 na figurze 2. Średnia szybkość zaciskania tego liczącego 8 lat chodnika wynosi ok. -125 mm/rok.

Kolejną grupę wyrobisk solnych stanowią chodniki i komora istniejące od 12 do 19 lat. Dla nich charakterystyczne są szybkości zaciskania w przedziale od -30 mm/rok do nieco ponad -100 mm/rok i niemal liniowy przebieg wykresów. Dotyczy to obserwacji na 5 stanowiskach. Przykładem tej fazy zaciskania wyrobisk jest wykres konwergencji pionowej chodnika przystopowego do komory 1 na figurze 2. Wyliczona średnia szybkość zaciskania 15-letniego chodnika wynosi ok. -50 mm/rok.

Na kilku stanowiskach pomiarowych obserwowany jest ciekawy efekt polegający na wyraźnie większej szybkości zaciskania poziomego niż pionowego. Po zgromadzeniu większej ilości obserwacji należy podjąć próbę wyjaśnienia tego efektu, być może wiążącego się z niejednorodnością deformacyjną ośrodka solnego.

Diametralnie odmiennie niż wyrobiska solne zachowują się wyrobiska kamienne wykonane w anhydrycie i dolomicie podścielającym pokład soli. Obserwuje się tam zaciskanie na minimalnym poziomie z szybkościami rzędu od -1 mm/rok do -2 mm/rok, czyli kilkaset razy mniejszymi niż w przypadku wyrobisk solnych o takim samym wieku i na tej samej głębokości ponad 900 m.

PODSUMOWANIE

Bezpośrednie pomiary naturalnego zaciskania wyrobisk solnych na dużej głębokości, przekraczającej 900 m, prowadzone są od niemal 20 lat przez OBR Chemkop Kraków w ZG Polkowice-Sieroszowice. W ostatnich dwóch latach rozbudowano konwergencyjną sieć pomiarową, obejmując cyklicznymi obserwacjami najbardziej typowe przekroje wyrobisk i zmienność form geologicznych pokładu solnego oraz jego otoczenia.

Wznowienie pomiarów konwergencji na stanowisku pomiarowym założonym przed kilkunastu laty w chodniku na głębokości ponad 900 m pozwoliło otrzymać unikatowy dla tak dużej głębokości wykres zależności konwergencji liniowej od czasu. Niemal 20-letni okres obserwacji baz w tym wyrobisku pozwala uchwycić charakterystyczne fazy zjawiska konwergencji: od szybkiego zaciskania początkowego, poprzez trwające kilka lat wyhamowywanie ruchu, aż do fazy wieloletniego zaciskania z niemal stałą szybkością, kilkakrotnie mniejszą od początkowej.

Dzięki nowym bazom zainstalowanym w wyrobiskach ZG Polkowice-Sieroszowice od 2009 r. uzyskano nowe dane pomiarowe dotyczące deformacji poeksploatacyjnych komór i chodników na znacznej głębokości w złożu solnym. W pomiarach tych uwzględniono

różne wielkości przekrojów poprzecznych wyrobisk: od kilkunastu do niemal 200 m², położonych na dużych głębokościach w przedziale od 894 m do 952 m i o różnym czasie istnienia (od 1 tygodnia do ponad 19 lat). Szczególnie ważne jest uchwycenie wartości konwergencji fazy początkowej dzięki instalacji urządzeń pomiarowych w kilka dni po wykonaniu wyrobiska kombajnem. Zanotowane wartości tej konwergencji zawierają się w przedziale od ponad –100 mm/rok aż do ponad –600 mm/rok. Natomiast dla wyrobisk liczących kilkanaście lat charakterystyczna jest średnia szybkość zaciskania od –30 mm/rok do –100 mm/rok. Kontynuacja wznowionych pomiarów i projektowane rozbudowanie sieci stanowisk pomiaru konwergencji pozwolą na uściślenie podanej charakterystyki zaciskania wyrobisk w funkcji czasu i ocenę wpływu pozostałych parametrów natury geologicznej i górniczej. Ma to zasadnicze znaczenie dla bieżącej działalności zakładu górniczego, pozwalając racjonalnie wykorzystywać przestrzeń wyrobisk.

LITERATURA

- Bieniasz J., Wojnar W. & Misiek G., 2003. Deformacje układu filarowo-komorowego w perspektywie dalszej bezpiecznej działalności Kopalni Soli „Kłodawa”. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geosynoptyka i Geotermia*, 223, 45–50.
- Marcola-Sadowska J., Bieniasz J. & Wojnar W. 2009. Zaciskanie konturu typowej komory prostopadłościowej w kopalni soli Kłodawa. *Geologia* (kwartalnik AGH), 35, 3 307–314.

Summary

The contemporary exploitation of salt deposits requires reaching mineral resources at the deep-level. In the Kłodawa Salt Mine the exploitation with classic mining methods begins at the depth of about 450 meters and finishes at 750 meters. The depth of exploitation in the Polkowice-Sieroszowice (KGHM) mine is over 900 meters.

In the old salt mines exploiting Miocene deposit (such as Wieliczka and Bochnia) exploitation depths ranges from tens of meters to 470 meters. However, in Poland the salt leaching exploitation of caverns occur at depths ranging between 400 meters and 2000 meters. The possibility of direct measurement of excavation convergence in the salt leaching method of exploitation does not exist. The valuable results of direct measurements of convergence in deep-level deposits were recorded in two salt mines: Kłodawa and Polkowice-Sieroszowice. For many years now Chemkop Krakow specializes in the convergence survey in Polish salt mines. In the Kłodawa Salt Mine convergence measurements are conducted based on extensive complex grids of measuring points observed systematically for over 30 years. Obtained results were presented many times on PSGS conferences.

In the Polkowice-Sieroszowice Salt Mine the convergence measurements of excavations were conducted in 1991–1997 in three measuring stations. Measurements were resumed in 2009; their range was increased to a dozen or so stations as well as the frequency of observation.

A long term observation is crucial in understanding the phenomenon of the salt caverns convergence. This process in salt rocks has dynamics in the function of time of the excavation existence. Quick tightening of saline contour is observed short after the excavation. Over the time the speed of the convergence diminishes and after longer period it stabilizes on lower level comparing to the initial one (Bieniasz *et al.* 2003).

The changeability of convergence in function of time depends on many mining and geological factors like; the depth of excavation in deposit, the size of heading cross-section, type of rock mass.

In 2009 in Polkowice-Sieroszowice Salt Mine one of three measuring stations was resumed after 12 years. The linear measurements of two bases, vertical and horizontal were restarted.

The results are presented on figure 1. They show the model example of convergence changeability in salt rock in the function of excavation existence time. The first measurements started after about one month from working the excavation (dog heading width 5.4 m, height 4.1 m, area of cross-section about 22 m²).

In the first year of existence of the salt dog heading, the average speed of convergence was about -130 mm/year (max. -245 mm/year). In the following years the speed has diminished gradually, until value -40 mm/year, recorded in the sixth year of observation, before their break, and then reached about -30 mm/year in 2010, in the 19th year of excavation existence. During the whole observation period vertical base shortened by about -760 mm, and horizontal base also shortened by about -840 mm. This is a typical graph of deformation for excavations in salt deposit. Intensive displacements in the first period of excavation existence was followed by the several years of convergence slowing down, and then evolved into a long period of slow tightening with almost constant speed.

The results of convergence survey for bases installed in excavations of the Polkowice-Sieroszowice Salt Mine were obtained in 2009 and 2010 (Fig. 2). Different excavation cross-section areas (from 13 m² to 187 m²) were considered in the measurements. The excavations were situated on depths between 894 m and 952 m. Excavation existence time varied from 1 week to more than 19 years. The values of convergence of the initial phase ranged from -100 mm/year to more than -600 mm/year. However, for the excavations older than 10 years, average speed of convergence varied from -30 mm/year to -100 mm/year. Continuation of measurements as well as extending observation grid will help to know a changeability and diversity of the salt excavations convergence.